UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

CASE POSTALE 6128, SUCCURSALE A, MONTRÉAL, QUÉBEC, H3C 3J7

HASTUS : SYSTÈME "EXPERT-INTERACTIF" POUR L'ÉTABLISSEMENT DES HORAIRES D'AUTOBUS ET DE CHAUFFEURS

par

Jean-Yves Blais* et Jean-Marc Rousseau

* GIRO Inc.

Université de Montréal
Centre de recherche sur les transports - Publication #322-F (version abrégée)
Juin 1983

Dépôt légal - 2e trimestre 1985

RÉSUME

Le système HASTUS pour l'établissement des horaires d'autobus et de chauffeurs est le fruit de dix années de recherche et de développement, au sein du Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal, comme au sein de GIRO Inc. Plusieurs communications ont, jusqu'ici, décrit le modèle mathématique auquel il fait appel. Nous voulons ici décrire, en termes généraux, ce système en insistant d'une part sur l'important effort de jonction homme-machine qu'il met en oeuvre et, d'autre part, la simplicité que les caractéristiques d'interactivité confèrent à sa mise en place et à son utilisation.

1. INTRODUCTION

Le système HASTUS s'attaque à certains types de problèmes que posent, dans les services de transports publics, la planification d'ensemble et l'établissement des horaires.

Problème de planification d'abord : quels seraient les effets de changements qui interviendraient dans la convention collective, dans le niveau de service ou dans le mode d'exploitation — comme, par exemple, la mise en service d'autobus articulés, ou le recours à des chauffeurs[1] à temps partiel? Et quels seraient les coûts de ces changements? C'est justement pour résoudre ce problème qu'a été conçu le sous-système HASTUS-Macro. Ce dernier, outre qu'il fait partie intégrante du processus d'affectation des ressources humaines au sein du système HASTUS, trouve une fonction autonome dans les questions de planification des services et des ressources humaines : ainsi, par exemple, dans la négociation de conventions collectives.

En deuxième lieu, une demande de service doit se traduire en un horaire réalisable pour des véhicules. Le sous-système HASTUS-Bus peut répondre à une telle demande — que celle-ci s'exprime en fréquence de passage ou en nombre de véhicules disponibles : il fournit alors, pour y satisfaire, un ensemble efficace de tournées[2] de véhicules. Hautement interactif, HASTUS-Bus laisse à son utilisateur une grande liberté dans la modification de la solution.

Enfin, les horaires des véhicules doivent, à leur tour, se découper en des affectations de personnel conformes à des normes de qualité définies par la convention collective et autres ententes, à des coûts minimum.

---

[1] À la R.A.T.P., on utilise le terme machiniste.

[2] Une tournée, pour un véhicule, correspond à un horaire de service continu, à partir de sa sortie du garage, jusqu'à son retour au garage.

La nécessité d'offrir un service parfois deux ou trois fois plus élevé aux heures de pointe par rapport au reste de la journée et la complexité relative des conventions collectives rendent ce problème complexe et forcent généralement le recours à un certain nombre de journées de travail en deux bouts, coupées par une période de repos, non rémunérée, de plusieurs heures. Les références [8,11] ont fait, à une époque donnée, un tour d'horizon des règles de travail régissant les opérations dans les compagnies de transport collectif à travers le monde. C'est ici qu'intervient le sous-système HASTUS-Micro. Celui-ci, conçu pour l'établissement des horaires du personnel, joint à d'efficaces techniques de solution mathématique la facilité d'emploi et la souplesse d'un système interactif. De la sorte, un technicien expérimenté peut, dans la confection d'une grille-horaire pour le personnel, s'appuyer sur son intuition et son jugement, tout en comptant sur le pouvoir technologique de l'ordinateur, pour produire une grille d'une haute qualité.

Grâce à cet échange créateur entre les outils de l'optimisation mathématique, d'une part et, d'autre part, l'intervention humaine dans la commande et l'entrée, nous pouvons voir dans HASTUS un système "expert".

Notre propos est ici de fournir, hors de toute description technique, une introduction au système HASTUS, de décrire les traits principaux de son interactivité et de communiquer au lecteur certains des résultats qu'a fait ressortir sa mise en oeuvre à Montréal et ailleurs. Pour plus de détails, le lecteur pourra consulter Blais et Rousseau [2]. Les algorithmes mathématiques qu'utilise HASTUS ont fait d'ailleurs l'objet d'exposés divers (voir, par exemple, [1,3,5,9]); c'est donc sans entrer dans leurs détails mathématiques que nous y ferons ici référence.

2. LE DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME "HASTUS"

Au Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal, les travaux de recherche sur la planification des horaires des chauffeurs d'autobus ont démarré en 1974, en collaboration avec la Commission de transport de la Communauté urbaine de Montréal (C.T.C.U.M.), organisme responsable des transports collectifs sur l'île de Montréal. Les premiers résultats tangibles ont montré l'intérêt d'une méthode de programmation mathématique pour cerner le problème des horaires de chauffeurs. À l'aide de cette méthode, nous avons pu développer un ensemble de programmes, appelé HASTUS-Macro, que les commissions de transport des villes de Québec et de Montréal mirent à l'épreuve dans l'analyse de modifications proposées au cours de la négociation de plusieurs conventions collectives. À partir d'un horaire d'autobus et d'une description de la convention collective en vigueur, cette méthode esquisse, pour telle convention à l'étude, une solution au problème de l'horaire du personnel de bord et fournit une évaluation assez juste des coûts d'opération. HASTUS-Macro a, à plusieurs reprises, servi de soutien logistique dans la négociation de conventions collectives au Québec : à Montréal même, à Québec, à Sherbrooke et sur la Rive Sud de Montréal; on l'a également implanté à Paris (R.A.T.P.), à Los Angeles (S.C.R.T.D.), à Calgary, à Marseille (R.T.V.M.) ainsi qu'à Göteborg, en Suède (Volvo Transportation System).

Parallèlement, nous avons poursuivi nos recherches pour l'élaboration d'un modèle qui, à partir de la solution approximative donnée par HASTUS-Macro, fournisse une solution réalisable. Le système subissait avec succès des tests d'application aux données disponibles pour Montréal et pour Québec. Il était même mis en place à Québec en 1979, à titre de système en lots. Puis, en 1980, nous le développions en vue de son implantation

à Montréal. Lessard et coll. ont décrit [5] l'approche mathématique qui y a présidé. Il est en place à Montréal depuis 1981.

À la même époque encore, la société GIRO Inc. mettait au point, pour le traitement de l'horaire des autobus, un système interactif, désormais pleinement intégré à HASTUS. En plus des villes de Montréal et de Québec, la commission de transport de la ville de Sherbrooke, celle de la région de l'Outaouais ainsi que la Commission des transport de la Rive Sud de Montréal ont adopté le système. Ce système est également en voie d'implantation à Singapour et à New York. Enfin, des tests sont en cours dans plusieurs autres villes à travers le monde.

Les travaux de recherche et de développement se poursuivent, au Centre de recherche sur les transports, pour raffiner encore l'aspect mathématique du système; on en trouvera un compte rendu partiel dans Rousseau et coll. [9] et dans Scott [10]. GIRO Inc., de son côté, mène de front plusieurs recherches en vue d'adapter le système à un environnement de micro-ordinateurs.

Le lecteur qui voudrait se renseigner sur les activités de recherche en cours et sur les différentes approches proposées pour ces problèmes devrait consulter les trois références suivantes [7,12,13].

3. SURVOL DU SYSTÈME "HASTUS"

Dans sa forme actuelle, HASTUS comprend trois principaux sous-systèmes : HASTUS-Bus pour l'établissement de la grille-horaire des véhicules; HASTUS-Macro pour la planification du service et des ressources humaines, de même que pour le pré-traitement des données pour l'habillage des horaires de véhicules; et, enfin, HASTUS-Micro pour l'affectation concrète des chauffeurs. Les trois sous-systèmes s'intègrent complètement entre eux;

néanmoins, on peut facilement utiliser seul le HASTUS-Macro, hors de tout lien avec les autres éléments et sans risque de perturber la base de données.

3.1 Objectif : plus qu'un système interactif : un système "expert"

Par système "interactif", dans le contexte du transport en commun, on entend trop souvent celui où la machine devient simple calculatrice ou bloc-notes, avec mission de mémoriser les opérations que le technicien effectue manuellement; on l'oppose aussi aux systèmes en lots, où le rôle du technicien se limite à la préparation des données et à la validation des résultats, sans aucun contrôle de sa part sur le système même.

Avec HASTUS, le technicien garde à un tel point le contrôle du processus de planification horaire qu'il pourrait, à volonté, reproduire ses propres solutions manuelles; il pourrait, à l'opposé, s'abstenir de presque toute intervention et laisser la machine, que guident des techniques mathématiques affinées, élaborer seule la solution. Il nous est apparu que les meilleurs résultats s'obtiennent lorsque l'intelligence et l'expérience du technicien se marient au pouvoir des techniques mathématiques et de la technologie informatique. C'est pourquoi nous qualifions d'"expert" un système qui, comme HASTUS, appelle, entre l'homme et la machine, un haut niveau d'interaction.

3.2 Simplicité dans la manipulation des données

Les concepteurs de HASTUS ont d'abord voulu que l'emploi de celui-ci fût simple. Parmi les caractéristiques qui le rendent vite familier à l'utilisateur, citons les suivantes :

. Les pseudonymes : l'utilisateur peut changer les formats de commandes, définir les abréviations, pour que le tout corresponde mieux au vocabulaire auquel il est habitué.

. Un manuel intégré pour l'usager : au principal niveau de commande, l'utilisateur dispose d'une fonction de dépannage (aide) amplement détaillée; de même, à chaque point d'entrée des données, ou à chaque message d'erreur, correspond une source d'explication, appelée par "?".

. Commandes protégées par un mot de passe : certaines commandes sont protégées par un mot de passe, ce qui réserve aux seuls usagers autorisés certaines manipulations de données.

. Messages d'erreur variables : un usager autorisé peut, en mode interactif, modifier le contenu d'un message d'erreur, tantôt pour l'abréger, tantôt pour l'expliciter.

. Logique par commandes : le système fonctionne par commandes plutôt que par "menu"; il laisse ainsi à l'usager toute latitude devant la tâche à accomplir, sans lui imposer une séquence de menus; de son côté, la fonction de dépannage (aide) facilite au novice sa familiarisation avec le système.

3.3 Portabilité et souplesse

Entièrement rédigé en langage Fortran IV, HASTUS ne fait appel à aucune instruction particulière quant à la machine ni ne dépend d'un système d'exploitation donné. Par exemple, toutes les fonctions de manipulation des fichiers y sont remplies directement, sans l'intermédiaire du système d'exploitation. HASTUS est donc hautement "portable". D'abord développé sur un CDC Cyber 173 régi par NOS/BE, il s'adapte facilement à une machine IBM de la série 370, régie par CMS; nous l'avons récemment adapté à un micro-ordinateur PIXEL à exploitation UNIX et nous pouvons également l'offrir sur un mini-ordinateur PRIME. Il s'agit d'un programme à structure modulaire, constitué de plus de 70 000 instructions regroupées en 800 sous-programmes. Son haut degré de paramétrage facilite son adaptation aux besoins

particuliers. Comme, par surcroît, tous ses formats de sortie sont regroupés, son fonctionnement se prête à l'usage de n'importe quelle langue; il est déjà disponible en versions française, anglaise et suédoise.

4. LA MÉTHODE "HASTUS" POUR L'ÉLABORATION DES HORAIRES : HASTUS-Bus

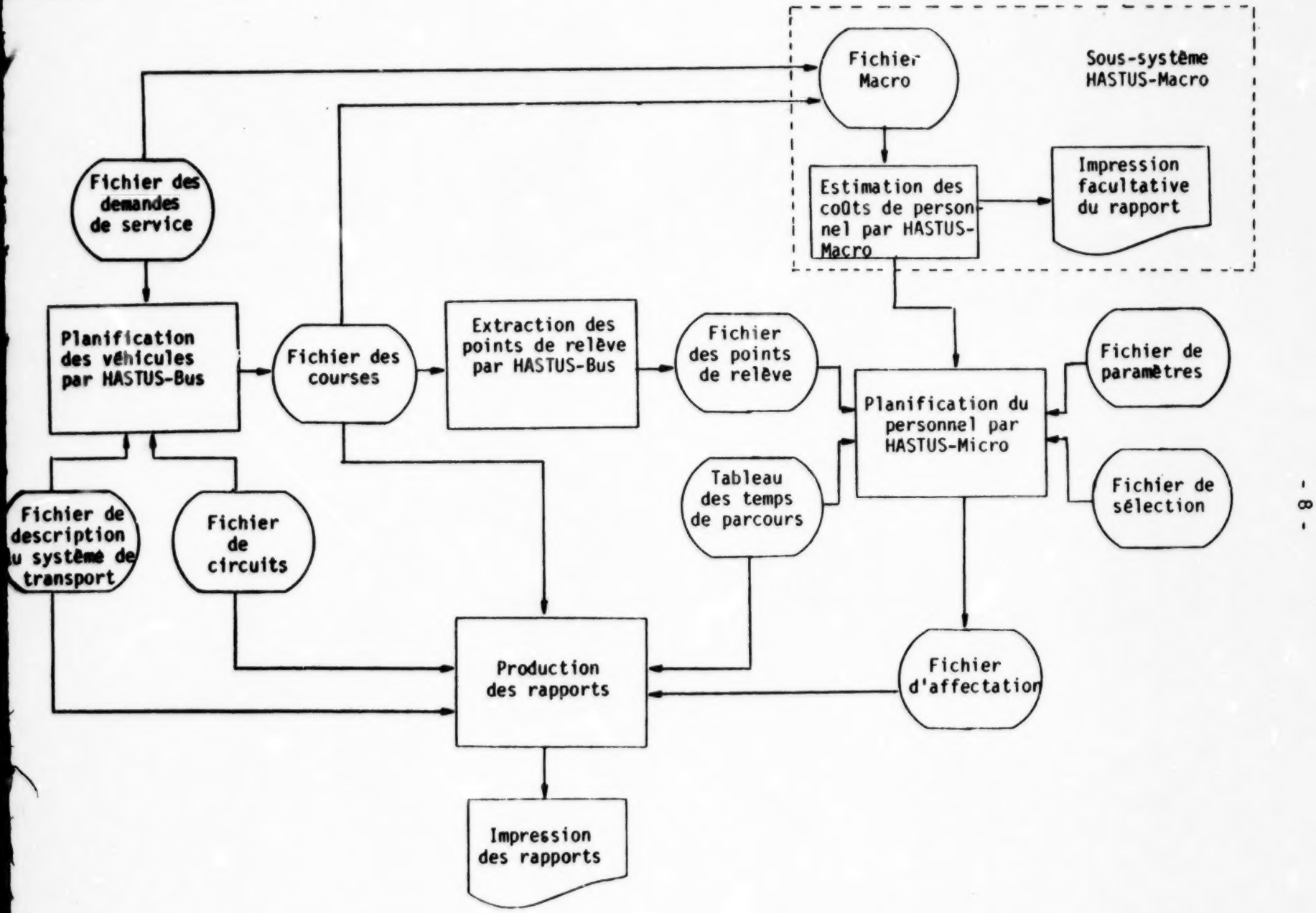
La figure 1 fournit une vue d'ensemble du système HASTUS et de sa structure. Une fois mis sur pied le fichier descriptif du réseau, l'utilisateur peut entreprendre la planification du service sur une ligne d'autobus[1]. Il crée alors un fichier de lignes pour donner une description physique des caractéristiques de chacun des tracés d'autobus. Puis intervient un fichier de demandes de service, qui fournit le niveau de service à atteindre sur cette ligne d'autobus. HASTUS-Bus élabore automatiquement les courses (d'un terminus à l'autre) et les répartit par tournée de véhicules : la solution apparaît instantanément à l'écran du terminal. L'utilisateur peut alors essayer successivement toute une gamme de stratégies pour l'élaboration des courses, par la modification du ficher de demandes de service suite à l'examen de la solution qu'affiche l'écran; il peut aussi, à l'aide de commandes interactives, modifier manuellement la grille des courses ou l'agencement des tournées. Le système fournit automatiquement l'information sur le nombre de véhicules qu'exige une grille donnée. Les courses ainsi élaborées et leur répartition par tournée s'emmagasinent dans un fichier de tournées.

Du fichier de tournées, on extrait les heures de relève[2]. Ainsi constitué, le fichier des heures de relève devient, dans la grille horaire, la seule donnée nécessaire à l'élaboration des journées de travail par HASTUS-Micro.

---

[1] On utilise également les termes circuit ou route d'autobus pour décrire l'ensemble des caractéristiques du tracé routier et de la séquence des arrêts suivis par un autobus.

[2] Sur chaque ligne, il n'y a que quelques endroits où un chauffeur peut être relevé, remplacé par un autre. Les heures de relève correspondent au temps de passage des véhicules à ces points.



Note: Le sous-système HASTUS-Macro peut s'utiliser de façon autonome comme outil d'évaluation des coûts de main-d'oeuvre.

Figure 1

5. HASTUS-Macro

La fonction propre de HASTUS-Macro est de calculer ce qu'il en coûterait, dans le cadre d'une convention donnée, pour fournir les ressources humaines nécessaires à tel ou tel horaire-véhicules. De la sorte, ce programme peut servir d'outil dans l'estimation des dépenses à prévoir advenant la passation d'une nouvelle convention ou la modification du service à donner. Le même progamme peut aussi fournir une solution approchée au problème de planification du personnel de bord, solution qu'on utilise alors comme entrée pour HASTUS-Micro.

Dans l'estimation des coûts, HASTUS-Macro utilise la programmation linéaire. En bref (on pourra trouver dans [1] et dans [9] un exposé détaillé du modèle mathématique), HASTUS-Macro définit un ensemble de variables représentant les journées de travail possibles à confier aux chauffeurs et assigne, à chacune d'elles, un coût qui est fonction de la convention collective à l'étude pour ce groupe d'employés. La solution optimale à ce problème d'estimation se trouve être, de toutes les combinaisons possibles de journées de travail, celle qui permet de fournir au plus bas coût, compte tenu de toutes les contraintes inhérentes à la convention, le service envisagé.

Dans l'utilisation autonome de HASTUS-Macro comme outil de planification, l'emploi d'une commande spécifique détermine la production d'un rapport indépendant. Les références [4,6] décrivent des applications dans ce contexte. Si, au contraire, on emploie HASTUS-Macro comme fournisseur de données à entrer dans HASTUS-Micro, les résultats du premier seront automatiquement transmis au second par le truchement de fichiers temporaires. Ces résultats guideront HASTUS-Micro dans sa recherche d'une liste d'affectation à la fois réalisable et économique.

6. LA MÉTHODE "HASTUS" POUR L'HABILLAGE DES HORAIRES : HASTUS-Micro

Le système HASTUS-Micro comporte à la fois plusieurs fonctions interactives et automatiques pour l'élaboration d'affectations de chauffeurs. En première partie, il permet aux techniciens de définir a priori certaines journées de travail, soit pour obéir à une tradition, soit pour toute autre raison. À Montréal, au plus 5% des journées sont ainsi préfixées. Les fichiers de travail, pour le reste du processus, se mettent à jour automatiquement suite à cette première étape manuelle. Le processus de HASTUS-Micro est hautement paramétrisé, permettant de tenir compte de tout changement dans la convention collective ou de toute modification désirée dans les caractéristiques de la solution finale. S'il y a lieu, ces paramètres pourront être changés aisément. Une fois les paramètres ajustés, et certaines journées de travail préfixées, le système est alors lancé pour produire une solution réalisable et économique au problème de l'habillage des horaires.

Lessard et coll. [8] ont décrit ailleurs, de façon plus détaillée, le procédé mathématique utilisé pour obtenir cette solution. Suivant les indications que suggère HASTUS-Macro, le système définit d'abord des pièces de travail[1], pour ensuite les regrouper en journées de travail à exécuter en une, deux ou trois pièces, lorsque la chose est permise. Un procédé heuristique travaille ensuite à l'amélioration de cette première solution.

C'est à ce stade que le technicien peut imposer au système ses exigences quant à la qualité de la solution à trouver. Les principaux outils dont il dispose à cette fin sont les "fichiers de sélection". Un "fichier

---

[1] Une pièce de travail est composée d'une suite de courses effectuées sur un même véhicule sans autre période de repos pour le chauffeur que les temps de battement en bout de ligne, entre deux courses consécutives. Une journée de travail est normalement constituée de une, deux ou trois pièces de travail.

de sélection" consiste en un ensemble de caractéristiques propres à des journées de travail. De ces caractéristiques peuvent faire partie :

- le nombre de pièces dont est faite une journée de travail;
- l'amplitude de cette journée de travail;
- la durée d'une pièce de cette journée de travail;
- l'heure à laquelle commence la journée de travail;
- l'heure à laquelle finit la journée de travail;
- les lignes utilisées durant la journée de travail;
- etc.

Le technicien peut ici demander au système de dresser la liste de toutes les journées de travail de la solution correspondant aux caractéristiques emmagasinées dans le fichier de sélection; il peut aussi lier à ces tâches une pénalité ou une prime. Il lui est loisible d'utiliser plusieurs de ces fichiers de sélection.

Quand interviennent pénalités ou bonifications, le système procède à une nouvelle optimisation, de façon à former une nouvelle série de journées de travail qui tienne compte de ces variations de coûts. Le technicien peut aussi fixer un certain nombre de journées qu'il ne veut pas voir modifier, ou décider d'apporter des modifications de son cru à la solution déjà obtenue. Il poursuit cette interaction jusqu'à ce que se dégage une solution pleinement satisfaisante. Alors est produite la liste d'affectations. Les fichiers de sélection peuvent également servir, aux étapes automatiques du processus, pour déjouer, avant même qu'elle ne se produire, la création de certains types de journées. C'est ainsi que, par exemple, ils peuvent servir à bannir de certaines lignes d'autobus les journées continues[1] et

---

[1] Une journée continue est une journée d'une pièce.

les pièces libres[1]. Les fichiers de sélection constituent la fonction privilégiée du transfert à l'ordinateur de l'expérience du technicien et de sa conception d'une solution de qualité. Voici deux exemples :

PENALITE 2,50 $	PENALITE 100,00 $
FIN-TACHE 22:00-30:00	LIGNE 198
NOMBRE-PIECE 2	NOMBRE-PIECE 1
AMPLITUDE 11H00-13H00	FIN-TACHE 19:00-30:00

Le premier de ces fichiers de sélection imposera une pénalité de 2,50 $ à toute journée de travail en deux pièces qui, se terminant entre 22:00 le soir et 06h00 le lendemain matin, aurait une amplitude (temps entre la fin et le début d'une journée de travail) variant entre 11 heures et 13 heures.

Dans le deuxième exemple, une pénalité de 100,00 $ frappera, sur la ligne 198, toutes les journées continues qui se termineraient après 19:00. L'importance de l'enjeu aura pour effet d'éliminer, pour toutes fins pratiques, le recours à de telles journées de travail.

7. LA MISE EN PLACE DU SYSTÈME "HASTUS"

En général, des techniciens qui ignoraient tout des ordinateurs n'ont travaillé sous surveillance avec HASTUS que le temps nécessaire à la production d'une liste d'affectations pour les jours de semaine, les samedis, les dimanches et les jours de congé. Dès après la sortie d'une troisième liste de journées de travail pour les chauffeurs, les techniciens avaient acquis une très bonne vue d'ensemble des techniques mises en oeuvre par HASTUS. À la quatrième liste, ils arrivaient à exploiter à fond les dispositifs de l'ordinateur dans l'élaboration d'une liste de bonne qualité

---

[1] Une pièce libre est une pièce de travail non assignée à un chauffeur régulier qui sera, soit effectuée en temps supplémentaire, soit confiée à un chauffeur en disponibilité.

et, face à des situations-problèmes, il trouvaient spontanément les réactions appropriées. La C.T.C.U.M. rapporte des économies de l'ordre de deux millions de dollars annuellement.

Tout ceci confirme que, moyennant un entraînement adéquat, l'apprentissage du système est d'une extrême simplicité. En fait, la maîtrise d'un petit nombre d'instructions permet rapidement aux techniciens une première initiation au système, celui-ci révélant ensuite graduellement ses autres ressources. Certes, la plupart des techniciens ne comprendront peut-être jamais les raffinements mathématiques que recèle HASTUS, mais tous saisissent les principes de son fonctionnement et arrivent à le diriger correctement, en toute connaissance des manoeuvres à effectuer pour l'obtention des résultats recherchés.

Bien sûr, il existera toujours, entre techniciens, différents degrés d'habileté dans la production d'efficaces grilles horaires, mais le recours à un système comme HASTUS, plutôt qu'à des procédés manuels, estompera les différences.

Le succès de la mise en oeuvre de HASTUS à Montréal et dans les autres commissions de transport nous a convaincus que l'implantation de systèmes mathématiques complexes au sein d'une exploitation est chose possible, si l'on arrive à concevoir un langage et un système interactif adéquat. HASTUS atteint cet objectif.

REFERENCES

[1] BLAIS, J.-Y. et ROUSSEAU, J.-M., "HASTUS : An Evaluation Model for Driver's Union Negotiation in Transit Companies". INFOR 20, 3-15 (1982).

[2] BLAIS, J.-Y. et ROUSSEAU, J.-M., "HASTUS : An Interactive System for Buses and Crew Scheduling". Publication #322, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal. (1983). À paraître dans Computer Scheduling of Public Transport - Volume II, Jean-Marc Rousseau, ed., North-Holland (1985).

[3] CARRARESI, P., GALLO, G. et ROUSSEAU, J.-M., "Relaxation Approaches to Large Scale Bus Driver Scheduling Problem". Transportation Research B 16B, 383-397 (1982).

[4] GARNIER, G.," MERCATOR and HASTUS-Macro - Computerization and Changing Working Conditions for R.A.T.P. Bus Drivers". À paraître dans Computer Scheduling of Public Transport - Volume II, Jean-Marc Rousseau, ed., North-Holland (1985).

[5] LESSARD, R., ROUSSEAU, J.-M. et DUPUIS, D., "HASTUS" : A Mathematical Programming Approach to the Bus Driver Scheduling Problem". Computer Scheduling of Public Transport, A. Wren, ed., North-Holland (1981).

[6] MITCHELL, R., "Results and Experiences of Calibrating HASTUS-Macro for Work Rule Cost Estimation at the Southern California Rapid Transit District, Los Angeles". À paraître dans Computer Scheduling of Public Transport - Volume II, Jean-Marc Rousseau, ed., North-Holland (1985).

[7] Preprints of the Workshop on Automated Techniques for Scheduling of Vehicle Operators for Urban Public Transportation Services, Chicago, 1975.

[8] R.A.T.P., "Conditions de travail des machinistes européens. Enquête 1978". RP-2, Paris (1979).

[9] ROUSSEAU, J.-M., LESSARD, R. et BLAIS, J.-Y., "Enhancements to the HASTUS Crew Scheduling Algorithm". Publication #321, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal. À paraître dans Computer Scheduling of Public Transport - Volume II, Jean-Marc Rousseau, ed., North-Holland (1985).

[10] SCOTT, D.W., "A Method for Scheduling Urban Transit Vehicles which Takes Account of Operation Labor Cost". À paraître dans Computer Scheduling of Public Transport - Volume II, Jean-Marc Rousseau, ed., North-Holland (1985).

[11] SHARP, G.P., "Constraints for Scheduling Operators for Urban Public Transport Systems". Preprints of the Workshop on Automated Techniques for Scheduling of Vehicle Operators for Urban Public Transportation Services, Chicago, 1975.

[12] *** "Computer Scheduling of Public Transport - Urban Passenger Vehicle and Crew Scheduling", A. Wren. ed., North-Holland (1981).

[13] Computer Scheduling of Public Transport - Volume II, Jean-Marc Rousseau ed., North-Holland (1985).